

УДК 532.529.5

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ТРУБОПРОВОДЕ С ОГРАНИЧЕННОЙ ИСКУССТВЕННОЙ ГАЗОВОЙ КАВЕРНОЙ

© 2011 г.

П.М. Шкапов¹, М.М. Благовещенская²

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

²Московский госуниверситет прикладной биотехнологии

spm@bmstu.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

Представлены результаты исследования динамики течения жидкости в трубопроводе с искусственной газовой каверной, возникающей в потоке жидкости в результате поддува газа за кавитатор и ограниченной в своем осевом развитии расположенным на выходе трубопровода местным гидросопротивлением типа дроссельной шайбы. Приведены данные экспериментальных исследований с результатами выявленной структуры потока. Дана математическая модель рассматриваемого кавитационного образования, приведен анализ устойчивости течения жидкости. Вскрыт физический механизм автоколебаний и показана возможность перехода к релаксационным колебаниям в виде последовательности гидроударов.

Ключевые слова: гидролиния, динамика течения жидкости, ограниченная газовая каверна, визуализация течения; математическая модель, автоколебания, результаты эксперимента.

Течения с развитой каверной, возникающей в зоне отрыва потока жидкости за плохо обтекаемыми телами или специальными кавитаторами, являются распространенной формой кавитационных течений. Поддув газа в зону отрыва, сепарация и коагуляция в ней пузырьков из набегающего двухфазного потока, также как и наличие стесняющих поток стенок магистрали, приводят к интенсификации развития этой формы кавитационного течения и существенному повышению критического числа кавитации по сравнению с паро-газовой формой в неограниченных потоках. Как показано в работах Г.В. Логвиновича, Э.В. Парышева, В.П. Карликова, В.В. Прокофьева, Л. Вудса и других исследователей, развитое локальное кавитационное образование является во многих случаях неустойчивым и характеризуется колебаниями определяющих параметров течения фаз [1]. Для искусственных газовых каверн в неограниченных потоках и однородных протяженных магистралях колебания носят локальный характер. При видимом существенном изменении формы и размеров каверн пульсации давления внутри каверны и в окружающем потоке являются незначительными. В случае ограничения развития каверны в осевом направлении из-за наличия в гидролинии ниже по потоку местных гидросопротивлений пульсации становятся более выраженными, охватывают всю гидросистему и в

предельном случае переходят в релаксационный режим в виде последовательных гидроударов с периодическим изменением расхода потока жидкости вплоть до изменения его направления.

В результате экспериментальных исследований, проведенных при участии к.т.н. С.Н. Курочкина и Е.А. Данилова, на созданном модельном гидродинамическом стенде с плоским прозрачным рабочим участком в месте существования ограниченной искусственной газовой каверны и использованием скоростной киносъемки были выявлены основные структурные и волновые особенности развития ограниченной искусственной газовой каверны при колебаниях. Схема экспериментального гидродинамического стенда приведена на рис. 1. На схеме цифрами обозначены: 1–6 – датчики давления; 7 – турбинный датчик расхода жидкости; 8 – образцовые манометры; 9 – напорный бак с жидкостью; 10 – магистраль наддува бака; 11 – расходный трубопровод жидкости; 12 – магистраль подачи газа; 13 – прозрачный рабочий участок гидросистемы, на котором создавалось совместное течение газа и жидкости; 14 – устройство подачи газа в поток капельной жидкости (кавитатор); 15 – критическая шайба на магистрали подачи газа; 16 – фланец подсоединения газовой магистрали; 17 – пассивно-регулируемый газожидкостный аккумулятор; 18, 19 – запорные вен-

вой, химической, энергетической и других отраслях промышленности.

В настоящем исследовании принимал участие В.Д. Сулимов.

На последнем этапе исследования проводились при поддержке грантом Президента РФ для ведущих научных школ № НШ-5271.2010.8.

Список литературы

1. Карликов В.П. и др. О возможном механизме возникновения автоколебаний в развитых искусственных кавитационных течениях и затопленных газовых струях // Изв. АН СССР. МЖГ. 1987. №3. С. 76–83.

2. Кинелев В.Г., Шкапов П.М. Динамика ограниченной газовой каверны в трубопроводе // Инженерно-физический журнал. 1991. Т. 61, №4. С. 578–585.

3. Кинелев В.Г., Шкапов П.М. Устойчивость и колебания жидкости в трубопроводе с ограниченной газовой каверной в потоке // Теоретические основы химической технологии. 1997. №4. С. 341–345.

4. Шкапов П.М. Устойчивость и колебания трубопроводных систем с ограниченной искусственной газовой каверной в потоке // Нелинейные колебания механических систем: Труды VIII Всерос. науч. конф. Н.Новгород, 22–26 сент. 2008 г. Н. Новгород: Диалог культур, 2008. Т. 2. С. 436–439.

5. Благовещенская М.М., Сулимов В.Д., Шкапов П.М. Методология разработки основ моделирования и диагностики гидромеханических систем пищевых производств по их динамическим характеристикам // Высокие интеллектуальные технологии и инновации в образовании и науке: Труды XVII Междунар. научно-метод. конф. Санкт-Петербург, 11–12 февр. 2010 г. СПб. 2010. С. 95–98.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE DYNAMICS OF A LIQUID FLOW IN A PIPELINE A LIMITED ARTIFICIAL GAS CAVITY

P.M. Shkapov, M.M. Blagoveshchenskaya

The work presents the results of studying the dynamics of a liquid flow in a pipeline with an artificial gas cavity arising in a stream of a liquid as a result of blowing gas behind the cavitator and limited in the axial development by a local throttle washer-type hydroresistance located on the exit of the pipeline. The data of experimental research of the results of the revealed flow structure are presented. The mathematical model of the considered cavitational formation is given, the analysis of the liquid flow stability is presented. The physical mechanism of the selfoscillations is revealed and a possibility of transition to relaxation oscillations in the form of a sequence of hydro-shocks is shown.

Keywords: hydraulic line, dynamics of fluid flow, limited gas cavity, flow visualization, mathematical model, autooscillations, results of the experiment.